

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова
Казанского научного центра Российской академии наук

КОНТРОЛЬНЫЙ ПИСЬМЕННЫЙ ПЕРЕВОД НАУЧНОГО ТЕКСТА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Efficient hybrid solar cells based on meso-superstructured organometal halide perovskites

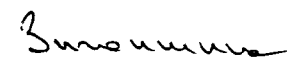
Эффективные гибридные фотоэлементы, основанные на мезосверхструктурированных галогенидных перовскитах

Science – 2012. – V.338(6107). – P. 643-647


Выполнил: Сергеева Татьяна Юрьевна



Научный руководитель: кхн, снс лаборатории химии каликсаренов Зиганшина Альбина Юлдузовна



Принял: доцент кафедры Иностранные языки в профессиональной коммуникации КНИТУ **Романов Дмитрий Александрович**



Эффективные гибридные фотоэлементы, основанные на мезосверхструктурированных галогенидных перовскитах

Лее М.М., Теусчер Ж., Миясака Т., Мураками Т.Н., Снайз Х.Ж.

Энергетические затраты, связанные с разделением плотно связанных экзитонов (фотоиндуцированные пары электрон-дырка) и извлечением свободных зарядов из высоко разупорядоченных сетей с малой подвижностью представляют собой фундаментальные потери для многих дешевых технологий фотовольтаики. Мы сообщаем о дешевых обрабатываемых раствором фотоэлементах, основанных на высококристаллических перовскитных абсорберах с интенсивной абсорбцией от ближнего до инфракрасного областях, которые проявляют эффективность преобразования энергии 10,9% в однопереходном устройстве под воздействием полного солнечного облучения. Эти мезосверхструктурированные фотоэлементы обладают экстремально низкими фундаментальными потерями: это позволяет создавать фотоЭДС больше 1,1 В, несмотря на относительно узкую ширину запрещенной зоны 1,55 эВ. Функциональность возникает из-за использования мезопористого Al_2O_3 в качестве инертной подложки, которое вызывает перенос электрона через слой перовскита.

Эффективные солнечные элементы должны поглощать в широком спектральном диапазоне от видимой до ближней инфракрасной области (от 350 до 950 нм) и эффективно преобразовывать падающий свет в заряды. Для получения пригодных к применению устройств заряды должны накапливаться при высоком напряжении с подходящего потока. Простой мерой эффективности солнечного элемента в получении напряжения является разница энергий между шириной запрещенной энергетической зоны абсорбера и фотоэлектродвижущей силой (V_{oc}), создаваемой солнечным элементом под воздействием солнечного освещения. Например, солнечные элементы на арсениде галлия GaAs проявляют V_{oc} 1,11 В и ширину запрещенной энергетической щели 1,4 эВ, дающие разницу приблизительно 0,29 эВ. Для сенсibilизированных красителем и органических солнечных элементов данная разница обычно равна 0,7-0,8 эВ. Для органических солнечных элементов такие потери главным образом связаны с их низкими диэлектрическими константами. Формы сильносвязанных экзитонов, которые требуют гетероперехода с акцептором электронов с значительной энергией смещения для облегчения ионизации и разделения зарядов. Подобно, сенсibilизированные красителями солнечные элементы имеют потери, рожденные переходом электрона от красителя (или абсорбера) в TiO_2 , которые требуют определенные «движущие силы» и от регенерации красителя с электролита, которые требуют потенциала перенапряжения.

Солнечные элементы, активированные неорганическими полупроводниками стали одним направлений исследования. Сверхтонкий

поглощающий слой толщиной от 2 до 10 нм покрывает внутреннюю поверхность электрода из мезопористого TiO_2 и затем соприкасается с электролитом или твердотельным полупроводником. Эти устройства обладают эффективностью преобразования энергии до 6,3%. Однако, концепция сверхтонкого слоя страдает от достаточно низкого V_{oc} : проблема может заключаться в электронной разупорядоченности, малой подвижности n-типа TiO_2 . Перовскиты – это относительно малоизученная альтернатива, обеспечивающая структуру для связывания органических и неорганических компонентов в молекулярный композит. Тщательное изучение взаимодействия между органическими и неорганическими элементами и контроль кристаллической структуры позволяет создавать новые и интересные материалы, используя элементарную мокрую химию. Ера, Митзи и соотрудники показали, что слоистые перовскиты, основанные на металлоорганических галогенидах, продемонстрировали отличную производительность в качестве светоизлучающих диодов и транзисторов с подвижностью, сопоставимой с аморфным кремнием. Металлоорганические галогенидные перовскиты используются в качестве сенсбилизаторов в жидких электролитах, основанных на фотоэлектрохимических ячейках с эффективностью преобразования между 3,5 до 6,5%. Недавно, перовскиты CsSnI_3 показали способность эффективно функционировать в качестве проводников с дырочной проводимостью.

Мы сообщаем об обрабатываемых раствором солнечных элементах, которые устраняют фундаментальные потери органических абсорберов и разупорядоченных оксидов металлов. Мы использовали подход сверхтонкого слоя и использовали в качестве абсорбера перовскит, мезопористый TiO_2 в качестве прозрачного компонента n-типа и 2,2(7,7(-тетракис-(N,N-ди-4-метоксифениламино)9,9(-спиробифлуорен))) (спиро-OMeTAD) в качестве дырочного проводника p-типа. Эти устройства проявляют эффективность преобразования энергии около 8%. Что удивительно, мы также обнаружили появление эффективности преобразования энергии, заменив мезопористый TiO_2 n-типа изолирующим Al_2O_3 . Al_2O_3 изолятор с широкой запрещенной энергетической зоной (от 7 до 9 эВ) и выступает исключительно в качестве подложки, которую покрывают перовскитами. Мы наблюдаем, что транспорт электрона через слой перовскита происходит намного быстрее, чем через TiO_2 n-типа. Кроме того, мы наблюдаем увеличение фотоЭДС при переходе от TiO_2 к изолирующему Al_2O_3 и обнаруженной эффективности преобразования энергии 10,9% по воздействию солнечного излучения Air Mass (AM)1.5.

Нами использовался перовскит в смешанногалогенидной форме: иодид-хлорид метиламмоний свинца, полученный из прекурсорного раствора в диметилформамиде через осаждение методом центрифугирования в условиях окружающей среды. Данные рентгеновской дифрактографии для $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_2\text{Cl}$, полученной на стекле, показали наличие дифракционных пиков при 14,20, 28,58 и 43,27°, которые соответствуют (110), (220) и (330) плоскостям, соответственно, тетрагональной перовскитной структуры с

параметрами кристаллической решетки $a = 8,825 \text{ \AA}$, $b = 8,835 \text{ \AA}$, $c = 11,24 \text{ \AA}$, аналогичные ранее сообщенному $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. Чрезвычайно узкие кристаллические пики обозначают, что пленки имеют широко расстилающиеся области кристалличности (больше 200 нм, ширина пиков ограничена приборным уширением) и высокую ориентированность по α -абсциссе. По сравнению с ранее использовавшимися в фотоэлементах тригалогенплюмбатами, смешанные иодид-хлоридные перовскитные структуры показали высокую устойчивость к обработке на воздухе. Спектры поглощения демонстрируют хорошие светопоглощающие способности в интервале от видимой до ближней инфракрасной области спектра, а также стабильность при длительном воздействии света, что показано 1000-часовым непрерывным воздействием искусственного полного солнечного облучения. Оптическая плотность пленки держится на уровне 1,8 в течение всего периода измерений (поглощение 1,8 соответствует 98,4% оптической плотности).

Солнечные батареи были изготовлены на полупрозрачном стекле оксиде олова, легированном фтором (FTO), покрытым компактным слоем TiO_2 , который действует в качестве анода. Пористые пленки оксида были изготовлены из золь-геля, обработанного спеченными наночастицами. Компоненты раствора были введены в пористую мезоструктуру через центрифугирование, и потом сушился при $100 \text{ }^\circ\text{C}$, что позволяло перовскитам формироваться через самоассоциацию составляющих ионов. Темная окраска возникала лишь после сушки.

Для разработки процесса нанесения перовскитного покрытия была проведена обширная работа по изучению того, как выделенные из раствора компоненты проникают в мезопористые оксиды. Если концентрация раствора достаточно низкая, а растворимость выделяемого материала высокая, то материал будет полностью проникать в поры по мере испарения растворителя. Как правило, материал образует смачивающий слой на внутренней поверхности мезопористой пленки, и равномерно покрывает стенки пор по всей толщине электрода. Степень "порового наполнения" можно регулировать путем изменения концентрации раствора. Если концентрация раствора велика, то после максимального заполнения мезопор избыток образует покрывающую пленку на поверхности заполненного мезопористого оксида.

При использованных нами оптимальных концентрациях перовскитных предшественников не наблюдалось образования покрывающего слоя, что означает образование перовскитов преимущественно внутри мезопористой пленки. Мы проверили образование перовскитов внутри мезопористой пленки и их равномерное распределение анализом поперечного сечения с использованием сканирующей электронной микроскопией с элементным анализом с использованием энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Для завершения фотоактивного слоя электрод с перовскитами покрывался проводником с дырочной проводимостью, Spiro-OMeTAD, с использованием центрифугирования. Как видно из рисунка 1С,

спиро- OMeTAD образует покрывающий слой, которое обеспечивает избирательный сбор дырок на поверхности серебряного электрода.

На рисунке 2А приведены спектры квантовой эффективности для устройств на основе TiO_2 и Al_2O_3 , которые показывают спектральную чувствительность в интервале от видимого до ближнего инфракрасного областях с квантовым выходом больше 80 %. Незначительные различия в форме являются результатом немного отличающихся оптимальных концентраций перовскита. На рисунке 2Б мы показываем кривые «ток-напряжение», полученные под воздействием искусственного освещения AM1.5 100 мВт/см². Активизированный солнечный элемент на основе TiO_2 проявляет фототок короткого замыкания 17,8 мА/см² и ЭДС 0,8 В при степени заполнения 0,53, выход эффективности преобразования полной энергии составил 6,7%. Мы представили два различных кривых «ток-напряжение» для устройств основанных на Al_2O_3 . Наиболее эффективное устройство проявляет J_{SH} 17,8 мА/см² и V_{OC} 0,98 В при степени заполнения 0,64 и выход η составил 7,8%. Третья кривая (пунктирная кривая) показывает устройство с приемлемым J_{SH} 15,4 мА/см² и очень высоким V_{OC} 1,13 В, но низкой степенью заполнения 0,45, выход эффективности преобразования энергии составил 7,8%. Смотрите в [25] гистограммы для различных параметров устройств, основанных на TiO_2 и Al_2O_3 .

Общей тенденцией является то, что элементы на Al_2O_3 производили на более чем 200 мВ высокие напряжения ЭДС, чем солнечные элементы на основе TiO_2 с сопоставимым током короткого замыкания и немного более низкими коэффициентами заполнения. От измерений солнечной батареи на основанных на глиноземе устройствах было очевидно, что слой перовскита может функционировать и как абсорбент, и как компонент n-типа, транспортируя электронный заряд из устройства. Позже мы продемонстрировали полупроводниковую природу перовскита, сконструировав планарный диод структуры FTO/плотный TiO_2 /CH₃NH₃PbI₂Cl/спиро-OMeTAD/Ag. В данной конфигурации слой перовскита имел толщину примерно 150 нм и солнечный элемент создавал J_{SH} 7,18 мА/см², V_{OC} 0,64 В при степени заполнения 0,4 показали η 1,8%.

Если мы берем ширину запрещенной зоны CH₃NH₃PbI₂Cl 1,55 эВ из данных квантового выхода, фотоЭДС составляет 1,1 В, и разница в энергии составляет только 0,45 эВ, что позволяет конкурировать с лучшими технологиями тонких пленок. Чтобы понять, почему мы наблюдали такое значительное увеличение напряжения по сравнению с элементами на TiO_2 , мы должны рассмотреть эксплуатационный способ этих двух концепций. Мы ожидали для активизированных устройств на TiO_2 то, что после поглощения света перовскитом, электрон должен перейти в TiO_2 (с последующим переносом электрона через TiO_2 к поверхности FTO) и дырок к спиро-OMeTAD (и с последующим переходом к серебряному электроду). Для элементов, основанных на Al_2O_3 электрон должен оставаться в перовскитном слое, пока они не собираются в планарном слое TiO_2 , покрывающем стекло, куда они должны пройти через пленку перовскитов. Передача дырки от

фотоактивированного перовскита к спиро- OMeTAD должна произойти таким же способом как в активированном устройстве на TiO_2 .

Чтобы исследовать возникновение зарядов на устройствах, мы использовали спектроскопию фотоидуцированной адсорбции (ФИА) на пленках оксидов, покрытых перовскитами, в присутствии и отсутствии спиро- OMeTAD. Для пленок мезопристого TiO_2 , покрытых перовскитами, спектр ФИА показывает особенности в ближней инфракрасной области, характерные для свободных электронов оксида титана, подтверждающие об эффективной активации диоксида титана перовскитами. В сравнение, пленки, изготовленные из Al_2O_3 , покрытых перовскитом, не проявляют сигнала в спектре ФИА, подтверждая изолирующую роль окиси алюминия. После добавления спиро- OMeTAD, мы наблюдаем окисленные молекулы спиро- OMeTAD, возникающие после фотовозбуждения перовскитов. Они имеют абсорбционные пики при 525 и 750 нм, а также широкую полосу около 1200 нм, соответствующие дыркам, расположенным на фрагментах триариламинов, которые доминируют на спектрах обоих образцов и на TiO_2 , и на Al_2O_3 . Эти результаты показывают, что перенос дырки от фотовозбужденного перовскита к спиро- OMeTAD очень эффективен, а также, в особенности, то, что дырочный проводник требуется для возможности существования долгоживущих зарядов в перовскитной пленке, покрывающей Al_2O_3 . Отметим, что сигнал ФИА зависит от концентрации и длины жизни наблюдаемых частиц, и следовательно только из измерения относительного тока невозможно количественно определить выход.

Для того, чтобы исследовать эффективность перовскитного слоя в транспорте электронного заряда из устройства, мы провели измерения затухания переходной характеристики фототока маленького возмущения. Солнечные элементы были подвержены воздействию моделирующего солнечного света и «блеснули» малым красным световым импульсом, скорость затухания сигнала переходной характеристики фототока приблизительно пропорциональна скорости переноса заряда от фотоактивного слоя. На рис. 3С, мы наблюдаем в десять раз быстрее происходящее накопление зарядов для устройств, основанных на Al_2O_3 , чем в случае активированных устройств на основе TiO_2 , что свидетельствует о более быстром переносе электрона через перовскитный слой по сравнению с TiO_2 n-типа.

Так как в основе лежал Al_2O_3 , не являющийся оксидом n-типа, то устройства больше не являются активизированным солнечным элементом, но они являются новым типом двухкомпонентных солнечных элементов. В соответствии планом, оксид алюминия является мезоразмерной подложкой, на котором сконструировано устройство, и таким образом, мы называем это устройство «мезо-сверхструктурированным солнечным элементом (МСССЭ)». Проведенные измерения показывают, что долгоживущие носители заряда могут быть получены через перенос дырок от перовскита к спиро- OMeTAD, и перовскитный слой действует быстрее в переносе заряда по сравнению с TiO_2 n-типа. Однако, они не объясняют увеличения

фотоЭДС. V_{OC} создается путем накопления электронов в материале n-типа и дырок в материале p-типа, что приводит к расщеплению квазиуровней энергии Ферми для электронов и дырок. Для мезопористого TiO_2 существуют плотности состояния, которые заходят в запрещенную электронную зону. Они заполняются электронами при освещении, и приводят к тому, что квазиуровни Ферми для электронов будут находиться дальше, чем зона проводимости для любых заданных плотностей заряда, чем это было бы в том случае, когда этих состояний не было (то есть в кристаллическом полупроводнике). Увеличение емкости накопления заряда материалов с высокой плотностью выше запрещенной зоны называется «химической емкостью». Там по существу нет никакой химической емкости оксида алюминия, и в МСССЭ весь электронный заряд локализуется на перовските, перенося уровень энергии Ферми ближе к зоне проводимости в этом материале при той же плотности заряда. Высокое напряжение показывает, что здесь в перовскитных пленках меньшая поверхность и состояние запрещенной электронной зоны по сравнению с мезопористым TiO_2 . Следовательно, повышение напряжения вызвано уменьшением химической емкости фотоэлемента. Мы использовали плотный слой TiO_2 в качестве электрон-селективного анода, однако химическая емкость экстремально тонкого слоя TiO_2 очень низкая из-за малого объема и поверхности. К тому же, плотный слой был получен через струйный пиролиз, имеет плотность 10^{18} см^{-3} , так же расположение запрещенной энергетической зоны может сказаться на химической емкости.

Центральным вопросом является то, какой переход осуществляется в МСССЭ: экзитона или распределенный p-n. Перовскиты имеют тенденцию к образованию слоистых структур, с непрерывными двумерными плоскостями металла перпендикулярно оси z и органических компонентов с меньшей диэлектрической проницаемостью (метиламин) между этими плоскостями. Возможное двумерное ограничение свободы экзитона может привести к увеличению энергии связи экзитона, что может увеличиться на несколько сотен милливольт. Довольно высокий фототок может быть объяснен тем, что либо умеренно делокализованные и высокоподвижные экзитоны угасают на границе раздела перовскит-спиро-ОМетАД, либо созданием свободных зарядов в объеме перовскитной пленки с достаточно хорошей миграцией электрона и дырки из устройств.

Ключевым ограничением в использовании МСССЭ в настоящее время является баланс между последовательным и шунтовым сопротивлениями. Перовскит является достаточно хорошим проводником, с измеренным сопротивлением до $10^{-3} \text{ См} \cdot \text{см}^{-3}$, таким образом, ток короткого замыкания возникает в результате контакта между серебряным электродом и перовскитным слоем. Использование плотного покрывающего слоя решает эту проблему, но спиро-ОМетАД является плохим проводником, и таким образом вызывает увеличение последовательного сопротивления. Таким образом, мы идем на компромисс.

Наша работа представляет собой эволюцию твердотельных сенсублизированных солнечных элементов с низкими фундаментальными потерями. Применение мезоструктурированных строительных блоков, на которых собираются чрезвычайно тонкие пленки полупроводников р- и п-типа, которые называются мезосверхструктурированными фотоэлементами, оказались чрезвычайно эффективными с проводниками п-типа, обеспечивая КПД преобразования энергии 10,9% под воздействием полной солнечной энергии. В дальнейшем ожидается прогресс в преобразовании энергии, которое выражается в расширении интервала до 940 нм, вызываемое использованием новых типов перовскитов или расширением этой концепции на новые обрабатываемые раствором полупроводники. Усиление поглощения света через тщательную проектировку мезоструктур и лучшее управление фотонами приводит к усилению фототока. Устранение последовательного сопротивления с использованием более мобильных дырочных проводников, или лучший контроль за толщиной порывающего слоя позволит уменьшить степень наполнения. Наконец, расширение этой системы до многопереходных устройств (без необходимости согласования решетки, как в обычных многоуровневых элементах) будет способствовать повышению производительности.

Поддерживается Европейским исследовательским советом, Стратегический международный научно-исследовательской совместной программой Великобритании, инженерных и физических наук научно-исследовательского совета и Агентства по науке и технике Японии. Т.М. благодарит программу финансирования мирового лидера инновационного R&D по науке и технике, Япония, за гибридные исследований солнечных батарей. М.М.Л. выражает благодарность за поддержку Стипендию Симмс предоставленного Мертон-колледжес, Оксфорд. Мы благодарим С. К. Патхак за помощь при измерении и анализе дифракции рентгеновских лучей, а также А. Абрисци, J. Болл, П. Докамро, А. Эй, Т. Лейжтенс, Н. Ноэль, и А. Койима за ценные обсуждения. Оксфордский университет подал три патента, связанные с этой работой.

1. В данной работе авторы исследовали каталитические свойства сульфонатных резорцинаренов, используемых в реакции Манниха.
2. Сульфонатные резорцинарены могут выступать в качестве кислот брэнстеда и активировать кислотно катализируемые реакции.
3. Резорциарен был синтезирован по методике, известной в литературе.
4. Реакция Манниха проводилась в воде при комнатной температуре.
5. Продукты реакции исследовались методами ИК-, ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии.
6. Была показана высокая каталитическая активность резорцинарена по сравнению с обычными кислотами Брэнстеда.
7. В работе описан возможный механизм реакции в водно-органической среде.
8. Новая каталитическая система работает без добавления дополнительных реагентов.

| | | |
|----|---------------------|----------------------------|
| 1 | ability | способность, возможность |
| 2 | absorbance | поглощения, абсорбция |
| 3 | accurate | точный |
| 4 | acetonitrile | ацетонитрил |
| 5 | act | выступать |
| 6 | active | активность |
| 7 | addition | добавление |
| 8 | adjust | приводить в порядок |
| 9 | affect | воздействовать |
| 10 | affinity | сходство |
| 11 | agreement | соглашение |
| 12 | albumen | белок |
| 13 | alchemy | алхимия |
| 14 | alcohol | спирт |
| 15 | alkali metals | щелочные металлы |
| 16 | alloy | сплав |
| 17 | alternating current | переменный ток |
| 18 | alternator | генератор переменного тока |
| 19 | alumina | оксид алюминия |
| 20 | amount of data | объем данных |
| 21 | anachronism | анахронизм |
| 22 | analysis | анализ |
| 23 | anode | анод |
| 24 | appearance | внешний вид |
| 25 | application | применение |
| 26 | appropriate | присваивать |
| 27 | approximately | приблизительно |
| 28 | approximately | приблизительно |
| 29 | arise | возникать |
| 30 | aromatic | ароматический |
| 31 | assigne | приписывать |
| 32 | atom | атом |
| 33 | atomic nucleus | атомное ядро |
| 34 | atomic weight | атомная масса |
| 35 | attain | достигать |
| 36 | attention | внимание |
| 37 | attenuation | замедление |
| 38 | availability | пригодность |
| 39 | available | доступный |
| 40 | band | полоса |
| 41 | base | основание |
| 42 | biochemistry | биохимия |
| 43 | biocompatibility | биосовместимость |

| | | |
|----|-----------------------|--------------------------|
| 44 | biological | биологический |
| 45 | biological molecule | биологическая молекула |
| 46 | biology | биология |
| 47 | broadband connection | выделенное подключение |
| 48 | broadening | уширение |
| 49 | building block | строительный блок |
| 50 | calculation | вычисление |
| 51 | calix | чаша |
| 52 | capable | одаренный |
| 53 | carbohydrate | углевод |
| 54 | carbon | углерод |
| 55 | carbon dioxide | углекислый газ |
| 56 | careful | осторожный, внимательный |
| 57 | carry out | выполнять |
| 58 | catalyst | катализатор |
| 59 | cavity | полость |
| 60 | change | изменение |
| 61 | change of matter | изменение вещества |
| 62 | characterize | характеризовывать |
| 63 | charge | заряд |
| 64 | chemical analysis | химический анализ |
| 65 | chemical bond | химическая связь |
| 66 | chemical compositions | химический состав |
| 67 | chemical compound | химическое соединение |
| 68 | chemical nomenclature | химическая номенклатура |
| 69 | chemical reaction | химическая реакция |
| 70 | chemistry | химия |
| 71 | chemistry laboratory | химическая лаборатория |
| 72 | chloride | хлорид |
| 73 | coloration | окрашивание |
| 74 | combination | комбинация |
| 75 | confirm | подтверждать |
| 76 | comparable | сравнимый |
| 77 | competitive | конкурировать |
| 78 | complete | завершать |
| 79 | completely | полностью |
| 80 | complexe | комплекс |
| 81 | composition of matter | состав вещества |
| 82 | concentration | концентрация |
| 83 | condensation | конденсация |
| 84 | condition | условие |
| 85 | conduction band | зона проводимости |
| 86 | conductive | проводящий |

| | | |
|-----|-------------------|---|
| 87 | conductivity | проводимость |
| 88 | configuration | конфигурация, форма |
| 89 | confinement | ограничение |
| 90 | consideration | рассмотрение |
| 91 | constant | постоянный |
| 92 | constituent | составляющий часть целого |
| 93 | construction | конструкция, сооружение |
| 94 | conversion | преобразование энергии |
| 95 | convert | преобразовывать |
| 96 | correspond | соответствовать |
| 97 | count | считать, сосчитать |
| 98 | covalent | ковалентный |
| 99 | covalent bonds | ковалентная связь |
| 100 | crack | взломать |
| 101 | creation | создание |
| 102 | critical | опасный, угрожающий, критический |
| 103 | cross-sectional | поперечный |
| 104 | crystal | кристалл |
| 105 | crystallite | кристаллит |
| 106 | current | ток |
| 107 | current intensity | сила тока |
| 108 | curve | кривая |
| 109 | cyclic | циклический |
| 110 | cyclodextrin | циклодекстрин |
| 111 | cyclophane | циклофан |
| 112 | dark | темное |
| 113 | dashed trace | пунктирная линия |
| 114 | data (datum) | данные, сведения |
| 115 | decay | затухание |
| 116 | decay | распад, разложение |
| 117 | defense | оборона, защита |
| 118 | degradation | деградация |
| 119 | degree | степень |
| 120 | deliver | передавать, вручать |
| 121 | density | плотность |
| 122 | dependent | зависимый |
| 123 | deploy | использовать, употреблять |
| 124 | deposition | смещение |
| 125 | deprotonation | депротонирование |
| 126 | describe | описывать |
| 127 | design | задумывать, придумывать, разрабатывать |
| 128 | desirable | желательный |

| | | |
|-----|---------------------------|--|
| 129 | desorption | десорбция |
| 130 | determine | определить |
| 131 | develop | развивать |
| 132 | d-glucose | д-глюкоза |
| 133 | diameter | диаметр |
| 134 | diamond | алмаз |
| 135 | dielectric | диэлектрический |
| 136 | difference | разница |
| 137 | diffraction | дифракционный |
| 138 | diffuse | диффузный |
| 139 | diffusion | диффузия |
| 140 | dimethyl formamide | диметилформаид |
| 141 | direct current | постоянный ток |
| 142 | direction | направление, область |
| 143 | disordered | разупорядоченный |
| 144 | dominate | доминировать |
| 145 | download | загружать, скачать |
| 146 | dramatic | резкий, драматичный |
| 147 | drive | стремление |
| 148 | dry | сушить |
| 149 | due to | благодаря |
| 150 | dye | краситель |
| 151 | dye-sensitized solar cell | сенсibiliзирoванный красителем фотоэлемент |
| 152 | ease | легкость |
| 153 | efficiency | эффективность |
| 154 | effort | усиление |
| 155 | either | или, любой |
| 156 | elaborate | разработать |
| 157 | electric current | электрический ток |
| 158 | electric energy | электроэнергия |
| 159 | electricity | электричество |
| 160 | electrochemical theory | электрохимическая теория |
| 161 | electrode | электрод |
| 162 | electron | электрон |
| 163 | electron cloud | электронное облако |
| 164 | electronic | электронный |
| 165 | elementary particle | элементарная частица |
| 166 | enable | разрешать, делать возможным |
| 167 | enable | давать возможность или право на ч-т |
| 168 | encapsulation | изоляция, капсулирование |
| 169 | energy | энергия |
| 170 | energy storage | накопление энергии |

| | | |
|-----|-------------------------------|--|
| 171 | enhance | увеличивать |
| 172 | enhance | повышать, увеличивать |
| 173 | ensure | обеспечивать |
| 174 | environment | окружающая среда |
| 175 | equation | уравнение |
| 176 | essential | существенный |
| 177 | establish | создавать, учереждать |
| 178 | estimate | оценить |
| 179 | evaporate | испариться |
| 180 | examine | проверить |
| 181 | excellent | превосходный |
| 182 | except | за исключением, кроме |
| 183 | excess | избыток |
| 184 | excitation | возбуждение |
| 185 | excitonic | экситонный |
| 186 | expect | ожидать |
| 187 | exposure | воздействие |
| 188 | exposure | подвергание |
| 189 | external | внешний вид |
| 190 | extraordinarily | необычайно |
| 191 | extremely | чрезвычайно |
| 192 | extremely thin absorber layer | сверхтонкий поглощающий слой |
| 193 | fabricate | получать |
| 194 | family | семейство |
| 195 | fat | жир |
| 196 | feature | особенность |
| 197 | fill factor | степень заполнения |
| 198 | find | находить |
| 199 | fluorine | фтор |
| 200 | force | сила |
| 201 | form | формировывать |
| 202 | formaldehyde | формальдегид |
| 203 | formation | формирование, образование |
| 204 | framework | сруб, карка, рама, обрамление, структура |
| 205 | free | свободный |
| 206 | free atom | свободный атом |
| 207 | frequency | частота |
| 208 | full | полный |
| 209 | function | функционировать, выступать |
| 210 | fundamental | основной |
| 211 | gas state | газообразное состояние |

| | | |
|-----|----------------------|------------------------------------|
| 212 | general | общая |
| 213 | generate | создавать |
| 214 | geology | геология |
| 215 | glass | стекло |
| 216 | glucosidic | глюкозидный |
| 217 | glycoluril | глюколурил |
| 218 | gold | золото |
| 219 | granite | гранит |
| 220 | half | половина |
| 221 | handle | обращаться, иметь дело с |
| 222 | hexameric | гексамерный |
| 223 | highly | высоко |
| 224 | histogram | гистограмма |
| 225 | hole transporter | проводник с дырочной проводимостью |
| 226 | hole-conductor | дырчный проводник |
| 227 | hole-transfer | перенос дырки |
| 228 | homologue | гомолог |
| 229 | host | гость |
| 230 | host-guest chemistry | химия гость-хозяин |
| 231 | hydrogen | водород |
| 232 | hydrogen bond | водородная связь |
| 233 | hydrolysis | гидролиз |
| 234 | hydrophobic | гидрофобный |
| 235 | hydrophobic effect | гидрофобный эффект |
| 236 | hydroxyl | гидроксильный |
| 237 | identify | определить, опознавать |
| 238 | illumination | освещение |
| 239 | implementation | реализация, осуществление |
| 240 | important | важный |
| 241 | improvement | улучшение |
| 242 | inclusion complex | комплекс включения |
| 243 | increase | увеличение |
| 244 | indicate | показывать |
| 245 | inertgas | инертный газ |
| 246 | infiltrate | проникновение |
| 247 | infrared | инфракрасный |
| 248 | inhibition | ингибирующее действие |
| 249 | instability | нестабильность |
| 250 | insulating | изолирующий |
| 251 | intensively | активно, широко |
| 252 | interaction | взаимодействие |
| 253 | internal | внутренний |

| | | |
|-----|----------------------|-------------------------------|
| 254 | iodide | иодид |
| 255 | ion | ион |
| 256 | ionic | ионный |
| 257 | isolate | изолировать |
| 258 | isotope | изотоп |
| 259 | issue | вопрос, проблема |
| 260 | junction | переход |
| 261 | key | ключ, ключевое |
| 262 | laboratory glassware | лабораторная посуда |
| 263 | lattice | решетка |
| 264 | layer | слой |
| 265 | lead | свинец |
| 266 | light | свет |
| 267 | light-emitting diode | светоизлучающий диод |
| 268 | liquid | жидкость, жидкий |
| 269 | liquid electrolyte | жидкий электролит |
| 270 | liquid states | жидкое состояние |
| 271 | localized | локализованный |
| 272 | long | длинный |
| 273 | long lived | долгоживущий |
| 274 | loss | потеря |
| 275 | major | главный |
| 276 | mass | масса |
| 277 | mass spectrometry | масс спектрометрия |
| 278 | materials science | химия материалов |
| 279 | matter | вещество |
| 280 | match | подходить, соответствовать |
| 281 | measure | измерять, оценивать |
| 282 | measurement | измерение |
| 283 | memory | память |
| 284 | mesoporous | мезопористый |
| 285 | message | послание |
| 286 | migration | миграция |
| 287 | mild | протекающий в мягких условиях |
| 288 | mimetic | миметик |
| 289 | minority | меньшинство |
| 290 | mixed-halide | смешанно-галогенидная |
| 291 | mobility | подвижность |
| 292 | modification | модификация |
| 293 | moiety | часть, доля |
| 294 | molecular capsule | молекулярная капсула |
| 295 | molecule | молекула |
| 296 | morphology | морфология |

| | | |
|-----|-------------------------------|---|
| 297 | nucleus | атомное ядро |
| 298 | nanoparticle | наночастица |
| 299 | narrow | узкий |
| 300 | nature | природа |
| 301 | near-infrared | ближний инфракрасный |
| 302 | necessitate | делать необходимым |
| 303 | neutron | нейтрон |
| 304 | new empirical methods | новый эмпирический метод |
| 305 | noble gases | благородные газы |
| 306 | noble-metal | благородный металл |
| 307 | noncovalent | нековалентный |
| 308 | note | обращать внимание, указывать |
| 309 | nuclear | ядерный |
| 310 | nuclear reaction | ядерная реакция |
| 311 | number | число |
| 312 | numerous | многочисленный |
| 313 | observe | возникать |
| 314 | oligomer | олигомер |
| 315 | oligosaccharide | олигосахарид |
| 316 | open-circuit | открытоцепной |
| 317 | open-circuit voltage | фотоЭДС |
| 318 | optical | оптический |
| 319 | optical band gap | ширина запрещенной энергетической зоны |
| 320 | optimum | оптимальный |
| 321 | organic chemistry | органическая химия |
| 322 | organometal halide | органометаллический галогенид |
| 323 | origin | происхождение |
| 324 | overall | полный |
| 325 | oxidation- reduction reaction | окислительно- восстановительная реакция |
| 326 | oxide | оксид |
| 327 | oxidized species | окисленные молекулы |
| 328 | oxygen | кислород |
| 329 | particular | практический |
| 330 | pattern | шаблон |
| 331 | peak | пик |
| 332 | perform | выполнять, осуществлять |
| 333 | periodic table | периодическая таблица |
| 334 | perpendicular | перпендикулярный |
| 335 | pharmaceutical | фармацевтический |
| 336 | phase | фаза |
| 337 | phenol | фенольный |

| | | |
|-----|--------------------------|------------------------------------|
| 338 | phenolic | фенольный |
| 339 | photochemical reaction | фотохимическая реакция |
| 340 | photoexcited | фотовозбужденный |
| 341 | photoinduced absorption | фотоиндуцированная абсорбция |
| 342 | photoluminescence | фотолюминесценция |
| 343 | photon | фотон |
| 344 | physical science | физическая наука |
| 345 | planar | планарный, плоский |
| 346 | planar-junction diode | планарный диод |
| 347 | plane | плоскость |
| 348 | plumbate | плюмбат |
| 349 | polymer | полимер |
| 350 | porphyrin | порфирин |
| 351 | positively | положительный |
| 352 | possibility | возможность |
| 353 | possible | возможно |
| 354 | post-synthetic | постсинтетический |
| 355 | power | мощность |
| 356 | power conversion | преобразование энергии |
| 357 | practical | практическое, находящее применение |
| 358 | precaution | преосторожность |
| 359 | predominantly | преимущественно |
| 360 | preparation | получение |
| 361 | present | представлять |
| 362 | primarily | в первую очередь |
| 363 | primary | первичный |
| 364 | prolonged | длительный, затянувшийся |
| 365 | promising | обещание |
| 366 | properties of matter | свойства вещества |
| 367 | property | свойство |
| 368 | proportional | пропорциональный |
| 369 | protein | протеин |
| 370 | proton | протон |
| 371 | provide | снабжать, доставлять; обеспечивать |
| 372 | quantification | количественное определение |
| 373 | quantum mechanical model | квантово-механическая модель |
| 374 | quantum mechanical | квантовомеханический |
| 375 | quartz | кварц |
| 376 | quaternary | четвертичный |
| 377 | query | запрос, вопрос |
| 378 | question | вопрос |
| 379 | radiation | радиация |
| 380 | radioactive | радиоактивный |

| | | |
|-----|------------------------------|-------------------------------------|
| 381 | radioactive decay | радиоактивный распад |
| 382 | radioactivity | радиоактивность |
| 383 | rapid | рапид |
| 384 | reaction | реакция |
| 385 | readily | легко |
| 386 | reasonably | достаточно |
| 387 | receive | получать, принимать |
| 388 | recently | в последнее время, недавно |
| 389 | recombine | воссоединяться |
| 390 | red-shi□ | красный сдвиг |
| 391 | reducing | восстанавливающий |
| 392 | relative | сравнительный, относительный |
| 393 | reliable | надежный |
| 394 | remarkably | удивительно |
| 395 | reproduction | воспроизведение |
| 396 | residue | осадок |
| 397 | resistance | сопротивление |
| 398 | respectable | приличный |
| 399 | respective | соответствующий |
| 400 | respectively | соответственно |
| 401 | respond | отвечать, реагировать |
| 402 | result | результат |
| 403 | return | вернуть |
| 404 | reversible | обратимый |
| 405 | revert | возвращаться |
| 406 | role | роль |
| 407 | sample | образец |
| 408 | scale | шкала |
| 409 | scale | масштаб |
| 410 | scan | сканировать |
| 411 | scanning electron microscopy | сканирующая электронная микроскопия |
| 412 | secondary | вторичный |
| 413 | security | безопасность |
| 414 | self-assembly | самоорганизация |
| 415 | semiconductor | полупроводниковый |
| 416 | semi-transparent | полупрозрачный |
| 417 | send | отправлять |
| 418 | sensitivity | чувствительность |
| 419 | separately | отдельно |
| 420 | several | несколько |
| 421 | shape | форма |
| 422 | short-circuit photocurrent | фототок короткого замыкания |

| | | |
|-----|----------------------------|------------------------------------|
| 423 | shunt | стрелка, перевод |
| 424 | significant | значительный, важный, существенный |
| 425 | silver | серебро |
| 426 | slidge | шлам |
| 427 | slightly | немного |
| 428 | slope | наклон |
| 429 | small perturbation | возмущение малой амплитуды |
| 430 | society | общество |
| 431 | solar cell | солнечный элемент |
| 432 | solid states | твердое состояние |
| 433 | solid-state hole-conductor | твердотелный полупроводник |
| 434 | solubility | растворимость |
| 435 | solution | раствор |
| 436 | solve | решать, разрешать; находить выход |
| 437 | solvent | растворитель |
| 438 | sound | звук |
| 439 | source | источник |
| 440 | specifically | конкретно, особенно |
| 441 | spectroscopy | спектроскопия |
| 442 | spectrum | спектр |
| 443 | spherand | сферанд |
| 444 | spin-coating | центрифугирование |
| 445 | spontaneously | самопроизвольно, спонтанно |
| 446 | storage | хранение |
| 447 | strain | напряжение |
| 448 | stress | механическое напряжение |
| 449 | structurally | структурно, конструктивно |
| 450 | structure | структура |
| 451 | subsequent | последующий |
| 452 | substance | субстанция, вещество |
| 453 | suggest | означать |
| 454 | sunlight | солнечный свет |
| 455 | supramolecular | супрамолекулярный |
| 456 | surface | поверхность |
| 457 | surface plasmon resonances | поверхностный плазмонный резонанс |
| 458 | synergistic | синергический |
| 459 | synthesis | синтез |
| 460 | synthesize | синтезировать |
| 461 | system | система |
| 462 | take | взять |
| 463 | technique | методика |
| 464 | tenfold | в десять раз |

| | | |
|-----|-------------------------|------------------------------------|
| 465 | tetraalkylammonium salt | соль тетраалкиламина |
| 466 | theory of atoms | теория атомов |
| 467 | thermodynamics | термодинамика |
| 468 | thickness | толщина |
| 469 | thin | тонкий |
| 470 | throughout | на протяжении, по всему |
| 471 | tin | олово |
| 472 | titania | диоксид титана |
| 473 | tool | инструмент, орудие |
| 474 | transfer | переносить |
| 475 | transformation | преобразование энергии |
| 476 | transient photocurrent | переходная характеристика фототока |
| 477 | transition | фазовый переход |
| 478 | translate | переводить, перемещать |
| 479 | transmission | пропускание |
| 480 | transport | перенос |
| 481 | trend | тенденция |
| 482 | trialkylamine | триалкиламин |
| 483 | triarylamine | триариламин |
| 484 | ultraviolet | ультрафиолетовый |
| 485 | underestimation | недооценка |
| 486 | understand | понимать |
| 487 | update | обновить |
| 488 | utilization | использование |
| 489 | value | значение |
| 490 | varying | варьирование |
| 491 | versatility | разносторонность |
| 492 | visible | видимый |
| 493 | voltage | электрическое напряжение |
| 494 | water-soluble | водорастворимый |
| 495 | wavelength | длина волны |
| 496 | weight | вес |
| 497 | wet chemistry | мокрая химия |
| 498 | window | окно |
| 499 | X-ray | рентгеновский |
| 500 | yield | выход |